

М. А. Герман*, Г. В. Гуртовая, А. А. Орлов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва

**ferrarigerman@gmail.com*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук С. В. Скворцова

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ И КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ

В данной работе изучено влияние обратимого легирования водородом на преобразование структуры ножки эндопротеза тазобедренного сустава, полученной фасонным литьем из титанового сплава ВТ6. Разработан оптимальный режим термоводородной обработки, позволяющий сформировать структуру с комплексом механических свойств, отвечающих международным стандартам.

Ключевые слова: термоводородная обработка, эндопротез тазобедренного сустава, водородные технологии, структура, титановый сплав, механические свойства.

М. А. German, G. V. Gurtovaya, A. A. Orlov

THE EFFECT OF THE THERMOHYDROGEN TREATMENT ON THE CAST STRUCTURE TRANSFORMATION AND THE MECHANICAL PROPERTIES IN THE TITANIUM ALLOY

In this work, the effect of the reversible hydrogen alloying on the structure transformation and mechanical properties of the hip implant stem produced by the shaped casting of the titanium alloy VT6 was investigated. The most preferable thermohydrogen treatment condition that enables to achieve the structure and mechanical properties complied with the international standards was developed.

Keywords: thermohydrogen treatment, hip implant, hydrogen technologies, structure, titanium alloy, mechanical properties.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений научно-технической деятельности является разработка и производство медицинских изделий. В последнее время в эндопротезировании широко начали использоваться полимеры и керамики, хотя, с точки зрения хорошей биологической совместимости в сочетании с коррозионной стойкостью и высокой удельной прочностью, наилучшим материалом для изготовления имплантатов является титан и сплавы на его основе.

Однако производство титановых изделий – крайне дорогостоящий процесс, что обусловлено плохой обрабатываемостью резанием и дороговизной механической обработки. Для снижения себестоимости элементов эндопротеза возможно применение фасонного литья. Такие отливки максимально приближены по форме и размерам к готовому изделию, однако они не отвечают требованиям международных стандартов по структуре и комплексу механических свойств.

Таким образом, целью данной работы был поиск технологических методов, позволяющих создать экономически выгодные имплантаты, отвечающие требованиям международных стандартов.

Эту проблему можно комплексно решить путем термоводородной обработки (ТВО), представляющей из себя обратимое легирование водородом в сочетании с термическим воздействием на наводороженный материал [1].

Структура фасонных отливок из сплава ВТ6 в состоянии поставки была представлена большими исходными β -зернами и крупными пластинами α -фазы, собранными в колонии внутри β -зерна (на рисунке а). Данная структура не способна обеспечить уровень механических свойств, отвечающий требованиям ГОСТ Р ИСО 5832-3, идентичного международному стандарту ISO 5832-3 (см. таблицу). Проведенные исследования показали, что применение ТВО позволяет преобразовать подобную структуру.

Механические свойства фасонной отливки сплава ВТ6 в литом состоянии и после ТВО в сравнении с требованиями ГОСТ Р ИСО 5832-3

Сплав ВТ6	Механические свойства			
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
ГОСТ Р ИСО 5832-3	860	780	10	25
Литое состояние	834	736	5	10
После ТВО	1030	960	12	30

Установлено, что размер структурных составляющих после ТВО определяется концентрацией вводимого в сплав водорода и температурой заключительного вакуумного отжига. С увеличением концентрации водорода и понижением температуры последующего вакуумного отжига происходит измельчение структурных составляющих [2].

Для формирования окончательной структуры и удаления водорода до безопасных концентраций был проведен трехступенчатый вакуумный отжиг: 500 °С, 2 часа, нагрев до 750 °С, 3 часа, и нагрев до 800 °С, 2 часа, который обеспечил наиболее равномерный распад β -фазы в процессе

дегазации и получение однородной мелкодисперсной ($\alpha+\beta$)-структуры по сечению изделия (на рисунке б,в). Тонкая α -оторочка, возникающая вокруг бывшего β -зерна при наводороживании, никак не влияет на показатели механических свойств (см. таблицу).

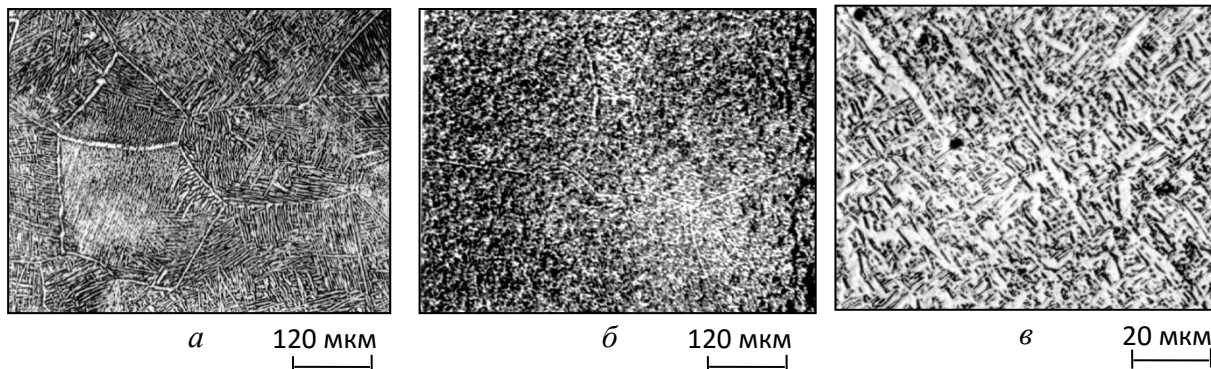


Рис. 1. Структура ножки эндопротеза тазобедренного сустава из сплава ВТ6:
 а – в литом состоянии; б, в – после ТВО: наводороживающий отжиг до концентрации 0,8 % водорода + вакуумный отжиг: 500 °С, 2 часа + 750 °С, 3 часа + 800 °С, 2 часа

На основании проведенных исследований показано, что применение ТВО к элементу эндопротеза тазобедренного сустава, полученного фасонным литьем из титанового сплава ВТ6, позволяет получить в нем структуру, соответствующую типу А2, и обеспечивает предел выносливости не ниже 480 МПа на базе 10^7 циклов, а также механические свойства, удовлетворяющие требованиям международного стандарта (см. таблицу).

Работа выполнена в рамках Государственного задания высшим учебным заведениям в части проведения НИР № 2895.14.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние водорода на фазовые и структурные превращения в титановых сплавах разных классов / А. А. Ильин [и др.] // Физико-химическая механика материалов. 2006. Т. 42., № 3. С. 33–39.
2. Ильин А. А., Скворцова С. В., Мамонов А. М. Управление структурой титановых сплавов методом термоводородной обработки // Физико-химическая механика материалов. 2008. № 3. С. 28–34.